

УДК 621.771

**ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ С
ВВЕДЕНИЕМ В ЕЕ СОСТАВ ЛЕНТЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ХРУПКИЕ ПОКРЫТИЯ,
РАСЧЕТ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТ**

Виктор Петрович Восторгин

*Студент 6 курса,**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: И.В. Кожевников,**старший научный сотрудник НИИ КМ и ТП кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Начиная со второй половины XX века в мире большое внимание уделяется использованию технической сверхпроводимости, открывающей большие перспективы прежде всего в энергетике. До настоящего времени, несмотря на многочисленные сообщения об открытии высокотемпературных сверхпроводников, лидером среди сверхпроводников остается интерметаллическое соединение Nb_3Sn , обладающее высокими критическими значениями плотности тока и магнитного поля, приемлемыми значениями температуры сверхпроводящего перехода среди сверхпроводников «работающих» в диапазоне гелиевых температур ($4^{\circ}K$).

Существенной особенностью этого сверхпроводника является абсолютная хрупкость, $\epsilon_{разр}$ при растяжении составляет, согласно литературным исследованиям 0,3 – 0,4%. Собственные экспериментальные исследования показали, что лента-заготовка теряет свои сверхпроводящие способности при превышении деформации 0,15 – 0,20%. График токнесущей способности представлен на рисунке 1.

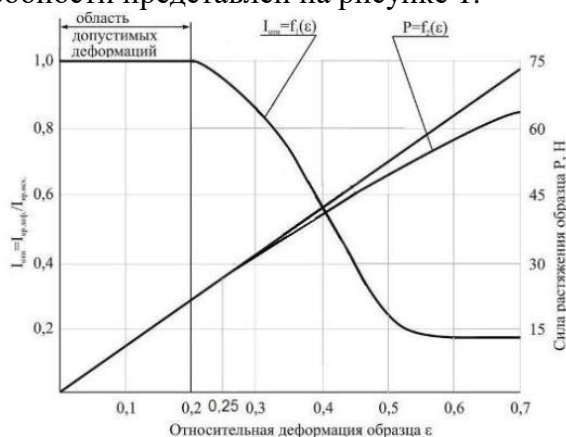


Рис.1. Токнесущая способность в зависимости от деформации при растяжении ленты-заготовки

- Ось абсцисс "Относительная деформация образца ϵ " (%)
- Первая ось ординат: $I_{отн} = I_{деф} / I_{исх}$ от "0" до "1"
- Вторая ось ординат, "Сила растяжения образца, P (Н)"
- 0 – 0,2% область допустимых деформаций.

В связи с этим обстоятельством применяют его в виде тонких покрытий 2-5 мкм на сторону на подложках из Nb толщиной 15-20мкм. Такую Nb-Sn ленту можно без ущерба для токнесущих свойств сматать в рулон $d=30-40$ мм. В соленоиде они

необратимо теряют сверхпроводящее состояние в сильных магнитных полях при значениях плотности тока существенно меньшем критического (предельно допустимого в сверхпроводящем состоянии) значения, демонстрируемого в коротких образцах. В соответствии с предложением А. Кантровица и З. Стекли, описавших механизм этого явления и предложивших способ его предупреждения, недостаток устраняется путем «тепловой стабилизации» Nb-Sn ленты, заключающейся в нанесении на ее поверхности несверхпроводящего металла с низким удельным сопротивлением при температурах эксплуатации соленоида, например, меди.

Задача по созданию процесса получения композиционной ленты с введением в ее состав ленты с хрупкими покрытиями была поставлена АН СССР перед НПО ВНИИМЕТМАШ. Для ее решения была привлечена кафедра «Автоматизация и механизация прокатного оборудования» МВТУ им. Н.Э. Баумана. Под руководством А.Г. Целикова был создан стан для получения многослойной сверхпроводящей композиции лент дуо 160. Сверхпроводником являлся слой Nb₃Sn. Но в последующей работе стана были выявлены следующие недостатки: смещение лент с линии технологического процесса, разрыв лент. Данные недостатки являлись последствием дефектных заготовок лент. Наибольшую проблему представляла ребровая кривизна.

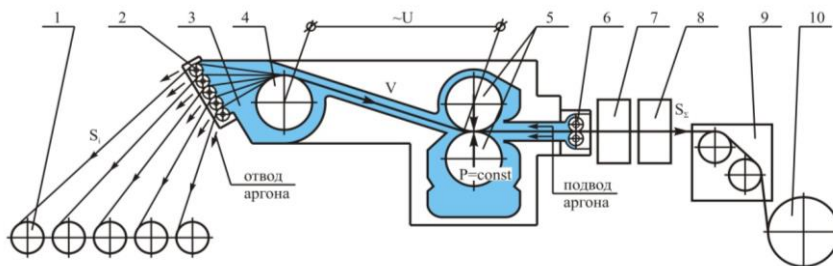
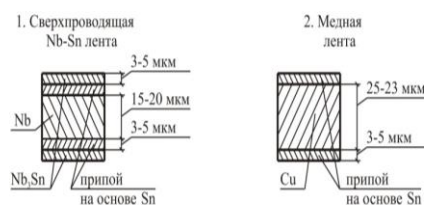


Рис. 2. Схема процесса получения многослойной ленты: 1 – рулоны лент-заготовок; 2 – направляющие ролики; 3 - зона с контролируемой атмосферой; 4 – опорный ролик; 5 – обогреваемые валки; 6 – выводные ролики; 7 - измеритель толщины композиции; 8 – измеритель сплошности композиции; 9 - измеритель натяжения; 10 – рулон готовой ленты.



ТИПЫ КОМПОЗИЦИЙ

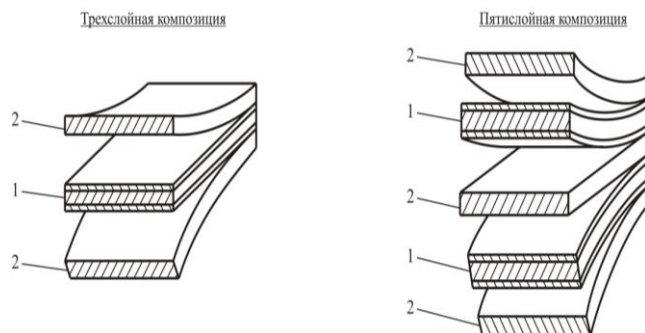


Рис. 3. Основные варианты ленточных композиций: исходные составляющие ниобий-оловянная (1) и медные (2) ленты, трехслойная (3) и пятислойная (4) композиции.

Решение данной проблемы было найдено при помощи модернизации узла разматывателя и входных роликов в стане, а также был произведен перерасчет сил начального натяжения перед компоновкой в пакет лент и перераспределения их на контактом ролике для определения их значений в зоне нагрева непосредственно перед пайкой и в очаге деформации.

Выводы:

1. Проведен анализ предложенных ранее способов получения многослойных ленточных композиций с введением в состав ленты с хрупкими покрытиями.
2. Названы главные недостатки анализируемых технологий.
3. Предложена технология получения многослойных ленточных композиций с введением в состав ленты с хрупкими покрытиями, в которой названные недостатки отсутствуют.
4. Способ приемлем для получения ряда многослойных материалов на базе высокотемпературных сверхпроводников, имеющих низкие прочностные качества.

Литература

1. Патент США № 2.333.343 Кл.29-4709 за 1943 г.
2. Материалы конференции "Проблемы сверхпроводящих материалов". 1970 г.
3. *Свалов Г.Г., Белый Д.И.* Сверхпроводящие и криорезисторные обмоточные провода. – М.: Энергия, 1976. – 168 с. с ил.
4. *Альтов В.А., Зенкевич В.Б., Кремлев М.Г., Сычев В.В.* Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем. – М., Энергоатомиздат, 1984. 312 с. с ил.
5. Отчет ЦНИИЧЕРМЕТ "Разработка и опробование на ЛСПЗ технологии получения ленты со сверхпроводящим покрытием типа 70Б". Инв. № Б185135. ВНИИЦ.
6. Авторское свидетельство №1078795 от 8 ноября 1983 г. «Способ изготовления многослойной ленты и стан для его осуществления».
7. *И.В. Кожевников, Ю.М. Панфилов.* Стан для изготовления многослойной композиционной ленты. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ реф. сборник 1-82-21 подписано к печати 27.10.82 г.
8. Стан для изготовления многослойной ленты. Журнал «Производство проката №6 2013, с.43-46.
9. Получение ленточной композиции, содержащей слои с хрупким покрытием. Журнал «Производство проката» №4 2015 г., с. 25-30.